

<http://dx.doi.org/10.7236/JIIBC.2013.13.6.147>

JIIBC 2013-6-19

가시광통신에서 적응형 유전자 알고리즘을 적용한 수신전력 최적화

Received Power Optimization applying Adaptive Genetic Algorithm in Visible light communication

이병진*, 김용원**, 김경석***

Byung-Jin Lee, Yong-Won Kim, Kyung-Seok Kim

요약 LED 통신 환경에서 Adaptive Genetic Algorithm을 적용한 수신전력 변동 범위를 최적화하는 방안을 제안한다. 유전자 알고리즘을 이용해 고정 또는 이동 사용자를 위해 동적으로 전력 분배를 최적화함으로써 적응성, 환경 특성 및 사용자의 이동 패턴으로부터 독립하여 맞춤형 시스템 설계의 필요성을 없애므로 사용자의 편리성을 쉽게 높일 수 있다. 또한 실내 모든 위치에서 전력편차를 줄임으로써 에너지 절감 할 수 있다. 시뮬레이션을 실행한 결과, 제안 방식은 장애물이 존재하지 않은 빈 방을 고려하였으며, 전력편차는 $10.5\mu W$ 가 감소하였으며, 약 10%의 수신 전력 편차를 감소시킬 수 있다는 것을 보여주고 있다. 또한 제안한 유전자 알고리즘이 기존의 방법과 비교하였을 때, 최적값으로의 수렴이 개선되어서 에너지 절감 측면에서 효율적임을 확인하였다.

Abstract To provide a method for optimizing the variation range of the received power is applied to Adaptive Genetic Algorithm in a LED communication environment. By optimizing the power distribution dynamically for mobile or fixed using a genetic algorithm, to eliminate the need for a system design that is customized to be independent of the movement pattern of the user's adaptability, and environmental properties. It is possible to improve easily the convenience of the user. The room power deviation from any location can be reduced by reducing the energy. the simulation results, the proposed method does not exist obstacles in an empty room with power deviation $10.5\mu W$ decreased 10 percent to reduce the deviation of the received power is shown that. In comparison with conventional methods, convergence to the optimal value is improved, the genetic algorithm proposed was confirmed to be efficient in terms of energy savings.

Key Words : Visible light communication, Adaptive genetic algorithm, Optimization

1. 서 론

가시광 무선통신은 전송하고자 하는 데이터를 빠른

ON/OFF 속도를 갖는 LED를 이용해 고속의 무선 데이터 전송 수단으로 사용하는 통신방식이며, 빛을 내는 조명의 역할을 함께 겸하여 통신을 할 수 있다는 특징에

*준회원 충북대학교 전파통신공학과

**준회원 충청지역사업평가원

***정회원 충북대학교 정보통신공학과 부교수(교신저자)

접수일자 2013년 11월 22일, 수정완료 2013년 12월 13일

게재확정일자 2013년 12월 13일

Received: 22 November, 2013 / Revised: 13 December, 2013

Accepted: 13 December, 2013

*Corresponding Author: kseokkim@cbmu.ac.kr

Department of Electrical and Electronic Engineering, Chungbuk National University

현재 주목받고 있는 기술이다. 특히, 점멸이나 명암의 변화 주기가 짧을수록 고속의 데이터를 전송할 수 있다^[1]. 현재 VLC는 모바일-단말기간의 통신, WPAN, ITS (Intelligent Transport System), Home Network, 그리고 전자과의 간섭이 민감한 병원 및 항공기 등의 분야에서 많은 연구 활동을 통해 기반이 완성되어 가고 있다.

최근에 전력을 효율적으로 공급하여 에너지 절감효과를 목표로 많은 연구가 진행되고 있으며, 자연 진화 과정을 모방한 유전자 알고리즘은 모든 위치에서도 균일한 전력 범위를 얻기 위해 VLC에 도입하였다^[2].

본 논문에서는 Adaptive GA를 기반으로 신호 전력 변동 범위를 최적화하기 위해 LED 송신기의 강도를 수정하는 제안한다. 유전자 알고리즘을 이용해 빛에 의해 확산된 전력을 동적으로 여러 환경에서 고정 또는 이동 사용자를 위한 전력 분배를 최적화 할 수 있다. 이것은 적응성, 환경 특성 및 사용자의 이동 패턴으로부터 독립하여 맞춤형 시스템 설계의 필요성을 없애므로 사용자의 편리성을 쉽게 높일 수 있다. 또한 실내 모든 위치에서 전력편차를 줄임으로써 에너지 절감 할 수 있다. 하지만 전력편차를 줄임으로써 불가피한 trade off는 전력이 감소함에 따라 생기는 성능 하락이다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 2장에서는 VLC system의 모델을 분석하고, 3장에서는 적응형 유전자 알고리즘을 기반으로 전력제어 최적화하는 단계를 분석한다. 4장에서는 분석한 모델에 알고리즘을 적용해서 모의실험을 수행하였으며, 5장에서는 결론을 맺는다.

II. VLC System 모델

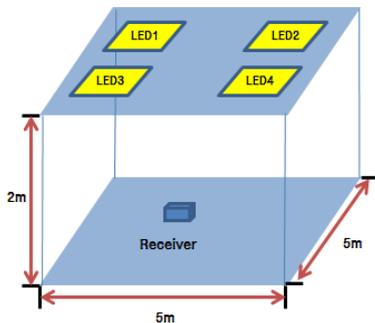


그림 1. 4개의 LED의 실내 VLC 모델
Fig. 1. Indoor environment VLC model with 4 LED lighting lamps fixed on the ceiling.

그림 1은 실내 VLC환경의 무선 광 채널 모델이다. 4개의 송신 LED는 동시에 천장에 고정되어 있으며, 각각 방을 비추는데 사용된다. 방의 사이즈는 수신기가 빛을 받는 높이를 고려하여 5x5x2m³로 설정하였다.

1. 송신기 모델

Lambertian 방사 특성을 가진 LED의 Angular distribution은 그림 2와 같이 나타난 것과 같으며 다음 식으로 나타낼 수 있다^[3].

$$I(\phi) = P_t \frac{m+1}{2\pi} \cos^m(\phi) \quad (1)$$

여기서 P_t 는 송신 파워이고, m 은 Lambertian emission,의 차수이다. 그리고 ϕ 는 LED의 방사각도이다. Lambertian의 차수가 작을수록 방사패턴은 넓게 퍼지고 차수가 클수록 빛이 집중적으로 모여서 방사됨을 볼 수 있다.

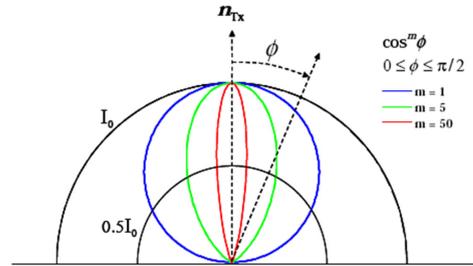


그림 2. Transmitter 분포
Fig. 2. Transmitter distribution

2. 수신기 모델

수신기는 optical filter와 detector, 그리고 pre-amplifier와 optical concentrator로 구성되어 있다. 빛이 통과될 때 optical filter와 optical concentrator를 거쳐 수신기에 도달한다. 수신된 파워의 분석은 바닥에 균일하게 배치된 $J=2500(50*50)$ 개의 수신기로 수행된다, 각 수신기는 위쪽으로 지향되어 있으며 field of view (FOV)는 90deg, 그리고 감지영역은 $A_{rx} = 1 \text{ cm}^2$ 이다. 수신 전력은 channel direct current (DC) gain에 의해 계산되며. 초기 송신 광 전력은 $P_t = 2W$ 이다.

$$P_{rx}(R_j) = \sum_{i=1}^{N_i} P_i H(0; S_i, R_j) \times T_j(\psi) \times g(\psi) \quad (2)$$

여기서 $T_f(\psi)$ 는 gain of optical filter이고, $g(\psi)$ 는 concentrator gain이다. S_i 는 i 번째 LED이며, R_j 는 j 번째 수신기이다.

신호 대 잡음비(SNR)는 통신의 품질을 나타내고, 다음 식 (4)과 같다^[4].

$$SNR = \frac{(R P_{rx})^2}{\sigma_{total}^2} \quad (3)$$

여기서 R 은 photodiode responsivity(A/W)이다. total noise variance σ_{total}^2 은 식(5)과 같다.

$$\sigma_{total}^2 = \sigma_{shot}^2 + \sigma_{amplifier}^2 \quad (4)$$

shot noise variance σ_{shot}^2 은 식(6)과 같다.

$$\sigma_{shot}^2 = 2qR(P_{rx} + P_n)B_n \quad (5)$$

여기서 B_n 은 the noise-bandwidth이고 P_n 은 외부광원의 파워이다. q 는 electronic charge 이고 $B_n = I_2 R_b$ 이다. R_b 는 data rate, I_2 는 the noise-bandwidth factor이다^[5]. Amplifier noise variance는 다음의 식 (7)과 같다.

$$\sigma_{amplifier}^2 = i_{amplifier}^2 B_a \quad (6)$$

여기서 $i_{amplifier}$ 는 amplifier noise current를 나타내고 B_a 는 amplifier bandwidth이다.

그러므로 total noise variance는 다음의 식(8)으로 다시 나타낼 수 있다.

$$\sigma_{total}^2 = 2qR(P_{rx} + P_n)B_n + i_{amplifier}^2 B_a \quad (7)$$

III. 적응형 유전자 알고리즘을 기반한 전력제어 최적화

유전자 알고리즘은 다수의 제한 조건을 갖는 최적화 문제에 적용되어 효과적으로 최적의 해를 찾아간다. 언

러는 해를 염색체로 나타내고, 염색체 내의 탐색과정인 교배와, 새로운 염색체로의 탐색과정인 돌연변이 연산을 동시에 수행한다. 그리고 세대(generation)를 거듭하며 모의 진화를 시킴으로써 최적의 해를 찾는다. 본 논문에서는 그림 3의 순서도와 같이 돌연변이율을 적응화시켜 전역 최적점을 찾을 수 있는 가능성을 높임으로 인해 정확한 보다 최적해를 탐색하였다.

1. 최적화 인자 (Optimization Factors)

VLC채널 특성 때문에, 각 수신기의 성능은 차이가 매우 크다. 따라서 본 논문에서는 모든 LED가 개별적으로 최적화 인자 k_i 에 의해 조절된다고 가정한다. $k_i \forall i \in \{1, \dots, N_L\}$ 이고 그 값은 $0 < k_i < 1$ 이며, $a_n = (k_1, k_2, \dots, k_{N_L})$ 와 같이 정의 할 수 있다^[6]. 본 논문에서 가정한 시스템을 고려했을 때, $N_L=4$ 이며 4개의 최적화 인자를 구성한다. 수신된 신호전력을 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_{rx}(R_j) = \sum_{i=1}^{N_L} k_i P_t H(0; S_i, R_j) \times T_j(\psi) \times g(\psi) \quad (8)$$

최적화 인자로 인해 J 개의 수신기가 받는 전력을 비슷하거나 동일하게하며 결론적으로 수신 전력 편차를 줄이게 된다.

$$P_{rx}(R_1) \approx P_{rx}(R_2) \approx P_{rx}(R_3) \approx \dots P_{rx}(R_j) \quad (9)$$

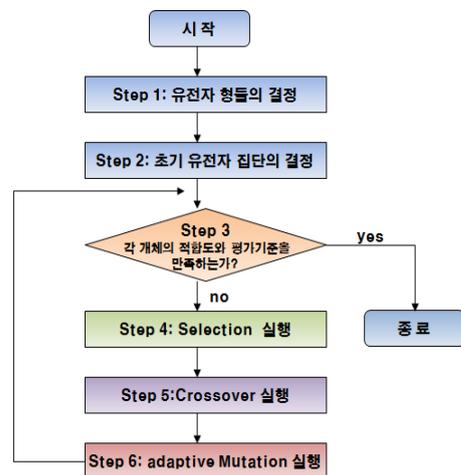


그림 3. 적응형 유전자 알고리즘의 순서도
Fig. 3. Block Diagram of adaptive genetic algorithm

2. 적합도 함수 (Fitness Function)

염색체 구조가 최적화 요인과 유전자 사이의 관계를 설정하는 반면에, 적합도 함수는 각 염색체가 최적의 해로서 얼마나 적합한지를 평가하는 기준이 되며 다음의 식(10)과 같다^[7].

$$F(a_n) = \left(100 - 100 \left(\frac{\max(P_{rx}(R_j)) - \min(P_{rx}(R_j))}{\max(P_{rx}(R_j))} \right) \right) \quad (10)$$

여기서 $\max(P_{rx}(R_j))$ 와 $\min(P_{rx}(R_j))$ 는 최대 그리고 최소 수신된 광 전력이다. 적합도 함수를 통해 각 염색체의 적합도가 구해지고 적합도가 큰 염색체일수록 최적의 성능을 보인다고 말할 수 있다. 적합도는 선택연산과 현재 세대의 최적 염색체를 판단할 때 기준 값으로 사용된다.

3. 최적화 연산자 (Optimization Operators)

선택단계는 자신의 유전자형 정보를 다음 세대에 전달되도록 하며, 좋은 유전자를 선출함으로써 주어진 세대에서 더 적합한 해를 강조할 수 있다^[8]. 각 염색체의 적합도에 비례하는 만큼 roulette의 영역을 할당한 다음, roulette을 돌려 화살표가 가리키는 영역의 염색체를 선택한다.

$$p_v^{prop} = \frac{F(a_n)}{\sum_{v=1}^{\mu} F(a_n)}, \quad \sum_{v=1}^{\mu} p_v^{prop} = 1 \quad (11)$$

새로운 염색체가 선택 될 때까지 과정은 μ 번 반복되며, 적합도가 높은 것은 선택될 확률이 그만큼 많고 적합도가 낮은 것은 선택될 확률이 상대적으로 낮다. 여기서 세그먼트 크기와 선택할 확률은 선택 단계에 걸쳐 동일하게 유지된다.

교배단계에서는 자연의 재생원리를 모방하며, 두 부모 염색체 사이에서 일부를 바꾸어 자식의 염색체를 생산하는 단계이다. 이는 선택 루틴에 의해 선택된 염색체에게 pc의 확률로 랜덤하게 선택되어 적용된다. 본 논문에서는 단일점 $m=1$ 과 교배확률은 $pc = 0.3$ 을 적용했다. 단일점 교배단계에서는 $\{1, \dots, N_c-1\}$ 범위 내에서 교배점이 선택되고, 두 개의 새로운 염색체는 교배점을 기준

으로 두 부모 사이에서 교환되어 생성된다.

돌연변이 단계는 현재 염색체내의 유전자 중 한 개 또는 여러 개를 무작위 방식으로 선택하여 다른 형태로 바꾸는 과정이며, 집단의 다양성을 유지시키고 새로운 해공간을 탐색하기 때문에 지역탐색을 극복하여 글로벌 해를 구할 수 있게 한다. 실제 환경에서도 그렇듯 돌연변이 확률은 대체로 매우 작은 값(0.001~0.1)을 가진다. 돌연변이 확률이 0.5보다 클 경우 유전자 알고리즘은 무작위 탐색(random search)을 한다. 그리고 돌연변이 확률이 0일 때 조속한 수렴(premature convergence)으로 인하여 지역 최적값(local optimum)을 가지게 한다. 그러므로 최적의 돌연변이 확률이 0과 0.5사이에 존재한다. 이와 같이 고정된 돌연변이 확률은 알고리즘의 정확성과 수렴속도를 어느 정도 향상시킨다. 그러나 적응적 돌연변이 확률은 고정된 돌연변이 확률보다 더 낫은 결과를 얻을 수 있다^[9]. 따라서 본 논문에서는 돌연변이 확률은 유전자의 평균 fitness와 높은 fitness사이에 동적으로 조정 한다.

$$p_m = \begin{cases} 0.5(f_{max} - f_m)/(f_{max} - f_{avr}), & f_m \geq f_{avr} \\ 0.005, & f_m < f_{avr} \end{cases} \quad (12)$$

여기서 f_{max} 는 유전자의 최고 fitness 값이고, f_{avr} 은 유전자의 평균 fitness 값이다. f_m 은 변이된 해 중에서 큰 fitness 값이다.

4. 피드백(Feedback), 종료(Termination)

돌연변이 단계까지 진행 한 후 다시 Fitness 함수로 피드백하게 되는데, 본 논문에서는 피드백은 최대 전력의 편차가 단순히 송신기로 전달되는 방식으로 MATLAB으로 구현하였다. 알고리즘이 종료 될 때는 값이 수렴하거나, 시뮬레이션 결과가 몇 가지 정의한 해 조건을 충족 할 때까지 GA는 여러 세대에 걸쳐 실행된다. GA는 확률적 검색 방법으로 알고리즘을 수행한 결과가 최소 신호 전력 편차가 될지 예측하기는 어렵다. 그래서 일반적인 방법으로 진화될 세대수를 결정하고, 그것을 충족하면 종료하는 방법을 적용 하였으며, 계산량을 고려해 유전자의 크기는 100, 세대수는 1000으로 결정하였다.

IV. 시뮬레이션 결과 및 분석

1. 수신전력 편차와 SNR성능 분석

VLC채널의 최적화 전과 후를 비교하여 수신 전력 편차와 SNR 성능을 분석하기 위해 모의 실험결과를 확인하였다. 4개의 LED 무선 광 채널환경을 가정하였고, 시뮬레이션에 사용된 파라미터는 표 1과 같으며, 위의 파라미터를 적용해서 나타낸 수신 전력과 SNR 성능은 다음 그림 4와 같다.

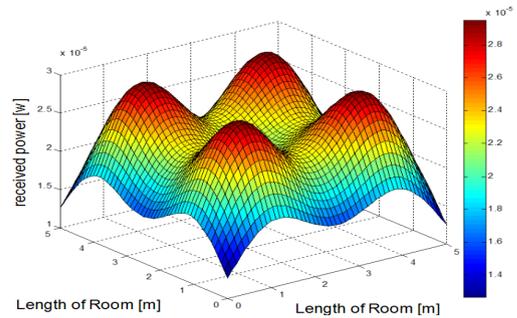
표 1. VLC 채널 파라미터
Table. 1. VLC channel parameter

ROOM size	5x5x2m	
P _{LED}	2w	
LED Location	LED 1	[1m 4m 2m]
	LED 2	[4m 4m 2m]
	LED 3	[1m 1m 2m]
	LED 4	[4m 1m 2m]
Lamb. order (m)	1	
PD area (Arx)	1cm ²	
FOV at the reciever	90 deg	
Gain of optical filter	1	
Optical concentrator	1.5	
Photodiode responsivity (R)	0.4 (A/W)	
Amplifier bandwidth (Ba)	50 MHz	
Amplifier noise current (i _{amplifier})	5pA / \sqrt{Hz}	
Noise power of ambient light (P _n)	0	
Noise bandwidth factor (I ₂)	0.562	

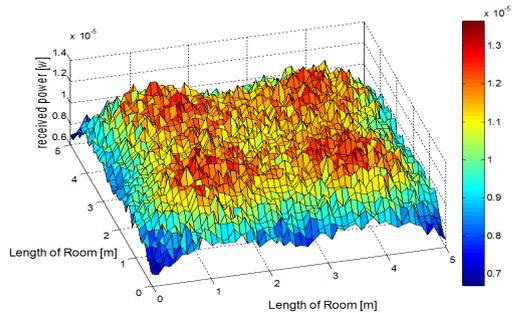
그림 4는 유전자 알고리즘 기반한 VLC 채널에 수신 전력과 SNR 성능 결과이다. 최적화된 효과를 자세히 나타내기 위해서 장애물이 없는 빈방의 환경으로 고려하였다. m의 값은 1이다. m값이 1일 때, 빛이 넓게 퍼지므로 LED가 위치하지 않은 방 중심에도 영향을 미친다. 수신 전력의 분포 결과를 그림 4에 나타내었다. (a)는 최적화 전 수신 전력의 분포를 나타낸다. 12.5 μ W ~ 29.5 μ W의 수신 전력을 나타내며, 편차는 17 μ W이며 피크전력의 58% 차이를 나타낸다. (b)는 최적화된 후의 수신전력의 분포를 나타낸다. 6.9 μ W ~ 13.4 μ W의 수신 전력을 나타내며, 편차는 6.5 μ W이며 피크전력의 48% 차이를 나타낸다. 결과적으로 알고리즘을 적용 후에 편차는 10.5 μ W가 감소하였으며, 약 10%의 피크전력차이를 감소시켰다. (c)의 SNR 성능도 최적화 전 피크 값의 차이가 7dB에서 최적화 된 (d)의 그림을 보면 피크 값의 차이가 5dB로 편차가 줄어든 것을 확인 할 수 있다. 전력

이 감소함에 따라 성능하락은 존재한다. OOK 시스템에서는 BER < 10⁻⁶을 만족하기 위해선 SNR이 13.6dB 이상 만족해야한다^[10]. 최적화된 최저 SNR의 값은 37.6dB로 이상 없이 조명과 통신기능을 수행할 수 있다.

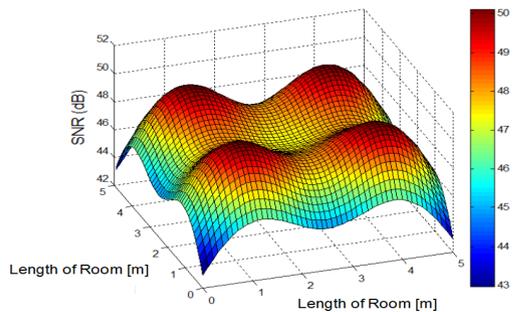
그림 5는 최적화 전과 후의 최대 수신 전력을 비교한 것이다. 네모로 표기된 그래프는 최적화 수행 전 그래프이다. 18.5 μ W ~ 29.5 μ W의 수신 전력을 나타내며, 편차는 11 μ W이며 피크전력의 37% 차이를 나타낸다. 동그랗게 표기된 그래프는 최적화 수행 후 그래프이다. 10 μ W ~ 13.8 μ W의 수신 전력을 나타내며, 편차는 3.8 μ W이며 피크전력의 27% 차이를 나타낸다. 마찬가지로 알고리즘을 적용 후에 편차는 7.2 μ W가 감소하였으며, 10%의 피크전력차이를 감소시킴을 확인할 수 있다.



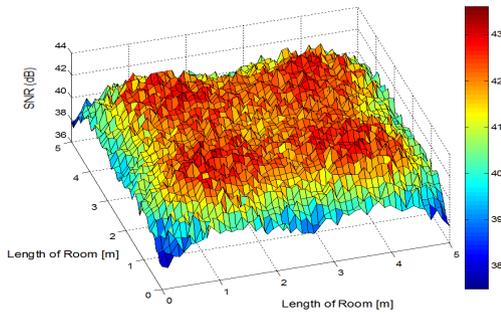
(a) 최적화 전 수신 전력



(b) 최적화 후 수신 전력



(c) 최적화 전 SNR 성능



(d) 최적화 후 SNR 성능

그림 4. 최적화 유무에 따른 수신 전력과 SNR 비교

Fig. 4. Comparison of SNR and received power according to the presence or absence of Optimization

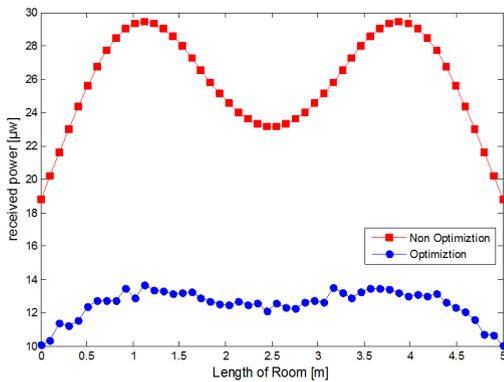


그림 5. 최대 수신전력 비교

Fig. 5. Compare the maximum received power

2. Convergence curves 분석

그림 6은 수신 전력의 수렴곡선을 나타낸다. 최적화 유무를 비교하기 위해서 세 가지의 수렴곡선을 나타냈다. 계산량을 고려해서 1000세대의 최적화를 수행하였으며, 제시된 수렴 값은 각각 20번을 수행한 뒤의 평균 값이다.

적응적 돌연변이 확률은 검색 공간을 더 다양하게 한다. 이는 주어진 세대에서 빠른 수렴과 좋은 해로 이어진다. 그래프에서 살펴보면 GA보다 Adaptive GA가 해 집단으로의 수렴 속도를 향상시키는 결과를 얻었다. 진화의 초기에는 기존 돌연변이 연산이 빠른 수렴 속도를 보이나, 진화가 거듭될수록 제한한 돌연변이 연산이 보다 나은 최적해를 찾는 것을 알 수 있다. 이는 반복의 초기 단계에는 보다 넓은 변수 영역을 탐색하는 것이 중요하고, 반복이 거듭될수록 우수한 해 근처를 집중적으로

탐색하는 것이 나음을 볼 수 있다. 그러므로 제안한 방법이 기존의 방법에 비해 최적 값으로의 수렴이 개선되어 에너지 절감 측면에서 효율적임을 확인하였다.

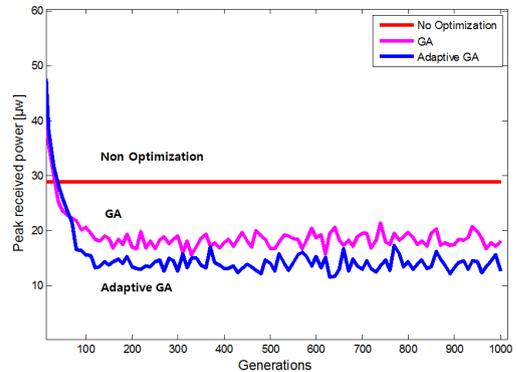


그림 6. 수렴 곡선

Fig. 6. Convergence curves

V. 결론

가시광 무선 통신 시스템은 LED와 빛의 ON/OFF를 인지할 수 있는 PD를 이용한 새로운 무선 통신 기술이다. 본 논문은 가시광 통신에서도 전력을 효율적으로 공급하여 에너지 절감하기 위해 자연 진화 과정을 모방한 유전자 알고리즘을 적용하여 여러 동적 환경에서의 수신 전력 분포를 최적화하기 위해 LED의 송신 강도를 수정하였다. 유전자 알고리즘을 적용하기 위해 유전자 규모, 선택 방법, 돌연변이 비율을 결정하였고 성능을 알아보기 위해 장애물이 없는 빈방으로 시뮬레이션을 진행하였다. 시뮬레이션 결과는 전력편차가 10.5μW가 감소하였으며, 10%의 수신 전력 편차를 감소시킬 수 있다는 것을 보여주고 있다. 또한 제안한 유전자 알고리즘이 기존의 방법보다 최적 값으로의 수렴이 개선되어서 에너지 절감 측면에서 효율적임을 확인하였다.

이와 같은 연구 결과는 가시광 무선 통신 시스템에서 적응성, 환경 특성 및 사용자의 이동 패턴으로부터 독립하여 맞춤형 시스템 설계와 비교하였을 때, 사용자의 편리성을 쉽게 높일 수 있으며 에너지 또한 절감 할 수 있어 효율적으로 비용을 관리할 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] Y. Tanaka, T. Komine, S. Haruyama and M.Nakagawa, "Indoor Visible Light Data Transmission System Utilizing White LED Lights," IEICE Trans. Communication, E86-B, pp.2440-2454, 2003.
- [2] Higgins, M.D., Green, R.J., and Leeson, M.S.: 'Genetic Algorithm Method for Optical Wireless Channel Control.' IEEE J. Lightwave. Tech., 2009, 27, (6), pp. 760 - 72.
- [3] Tarik Borogovac, Michael Rahaim and Jeffrey B. Carruthers, "Spotlighting for Visible Light Communications and Illumi- nation", Proceedings of the First IEEE Workshop on Optical Wireless Communications. GLOBECOM, 2010.
- [4] L. Zeng, D. C. O'Brien, H. Le-Minh, K. Lee, D. Jung and Y. Oh, "Improvement of Data Rate by Using Equalization in an Indoor VLC System", IEEE ICCSC 2008, Shanghai, China, May 2008.
- [5] S.B.Alexander, Optical Communication Re ceiver Design, SPIE Optical Engineering Press, Bellingham, Wash, 1997.
- [6] F. Rothlauf, Representations for genetic and evolutionary algorithms. Physica-Ver lag, 2002.
- [7] Matthew D. Higgins, Roger J. Green, Mark S. Leeson, Evor L. Hines: Multi-user indoor optical wireless communication system channel control using a genetic algorithm. IET Communications 5(7): 937-944 (2011)
- [8] T. B'ack, Evolutionary algorithms in theory and practice : evolution strategies, evolutionary programming, genetic algorithms. Oxford University Press, 1996.
- [9] Greffenstette, J. J."Optimization of Control Parameters for Genetic Algorithms," IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics SMC-16, 1, 122-128. 1996
- [10] Y. Tanaka, T. Komine, S. Haruyama, and M. Nakagawa, "Indoor visible light data transmission system utilizing white led lights", IEICE transactions on communications, vol. 86, no. 8, pp. 2440 - 454, 2003.

※ 이 논문은 2013년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비지원에 의하여 연구되었음

저자 소개

이 병 진(준회원)



- 2013년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 졸업
- 2013년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전파공학과 석박사 통합과정
<주관심분야 : 가시광 통신, Cognitive Radio, 전력선 통신>

김 용 원(준회원)



- 2004년 4월 ~ 2007년 5월 : 한국전자통신연구원 초고주파소자팀 연구원
- 2009년 7월 ~ 현재 : 충청지역사업평가관리원 New IT선도산업실 선임연구원
- 2012년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전파통신공학과 대학원(박사 과정)
<주관심분야 : 가시광 통신, Cognitive Radio, 전력선 통신>

김 경 석(정회원)



- 1989년 1월 ~ 1998년 12월 : 한국전자통신연구원 무선통신연구단 선임연구원
 - 1999년 1월 ~ 2002년 3월 : University of Surrey(영국) 전기전자공학과 대학원 졸업(공학박사)
 - 2002년 2월 ~ 2004년 8월 : 한국전자통신연구원 이동통신연구단 책임연구원
 - 2004년 9월 ~ 2005년 2월 : 전북대학교 생체정보공학부 전임강사
 - 2005년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 정보통신공학과 부교수
- <주관심분야 : 전파감시/관리시스템, 전파신호처리, SDR, Cognitive Radio, MIMO-OFDM, 전력선통신, 가시광 통신, 디지털라디오, MIMO 무선채널분석>